

# 干陸ほ場におけるトラクタの走行性について (1)

膨軟土壌状態における車輪の沈下<sup>※</sup>

田 辺 <sup>※※</sup> 一・中 尾 清 治 <sup>※※</sup>

Hajime TANABE, Seiji NAKAO

Trafficability of Tractor on the Reclaimed Land (1)

Sinkage of Model Wheel caused by Soil Moisture on the Soft Soil

## I 結 言

トラクタによる農業の機械化を推進する場合、まず問題となるのはトラクタの走行可否の判定である。とくに干拓などによる過湿土壌地帯においては、これがトラクタの作業効率を決定する大きな要因となる。水田農業を主体とするわが国においては、このためトラクタの走行可否すなわち trafficability についての研究がほ場基盤整備事業の推進にもなって開始されて10数年を経過したが、その研究成果は土壌の種類別、性質によって結果を異にし、したがって地帯別の研究成果に期待せざるを得ない。この意味において、文部省科学研究費による研究テーマ「山陰過湿地帯における基盤整備と大型機械の導入に関する研究」の一環として、干拓事業の進行しつつある中海地区を対象として干陸後のトラクタ走行に関する車輪沈下の問題をとりあげた。

一般に干拓土壌は土壌水分が極度に少なくなると固結する。実際に干拓直後では乾燥して表層土のみ固結化し、一見トラクタ走行は容易のようであるが、下層土は水分を多く含み湿潤状態であるため車輪の沈下が起こる。このような土壌水分の多い土は内部摩擦角が小さくかつせん断抵抗が小さいので土の支持力も小さい<sup>(6)</sup>。一般に支持力を左右する因子は、土壌水分が少ないときは密度によって、また土壌水分が多いときは含水比の大小によって影響されるといわれている<sup>(6)</sup>。干拓地のほ場は土壌水分が多いので、ここでは干拓土壌の土壌水分の変化に対して車輪の沈下を検討することにした。

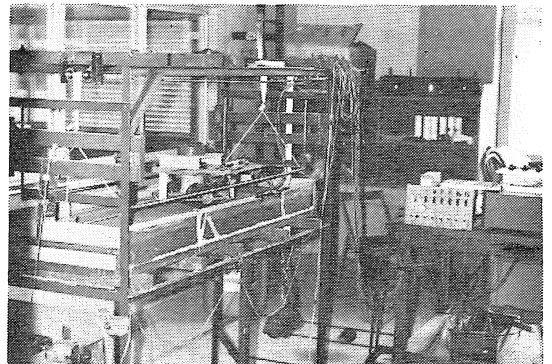
また、従来トラクタのけん引力測定の際には、トラクタ車輪にかかる重量が weight transfer によって静荷重と動荷重が異なり、測定値そのままの数値の比較は困難であったが、ここでの実験では車輪荷重は静荷重、動

荷重にかかわらずつねに一定となるような機構を有する装置を作成し、模型実験的に車輪荷重に対する基本的な沈下の傾向を見いだそうと試みた。

## II 実 験 方 法

模型実験では土の状態の再現性が困難なことから、土壌密度が最小となるような状態を保持することが比較的容易な膨軟土壌状態を対象とし土壌を転圧しない状態を基準とした。したがって実際のは場においては、耕起、砕土、均平された状態をいうことになるであろう。

実験は第1図に見られるような土壌槽(縦1500mm、横500mm、深さ150mm)を作成し、中海干拓土壌(シルト質粘土、液性限界55.5、塑性限界37.7)を、また実験結果を他の土壌と比較するためにローム(液性限界39.0、塑性限界34.0)、砂(川砂で粒径2mmフルイ通過のもの)を選び、それぞれ土壌槽内に入れてトラクタの走行路面とした。土壌水分は第1表に示すように乾燥土から水を加えることによって含水比の変化を与え、転圧は全然行なわれないいわゆる膨軟土壌状態とし、コテで表面のみ水平に仕上げ、土壌槽中央に平鉄を取付けこれを土壌表面とする基準面としてトラクタのテストコースとした。



第1図 実験装置

※ 昭和44年4月農業機械学会(東京)講演

※※ 農業機械工学研究室

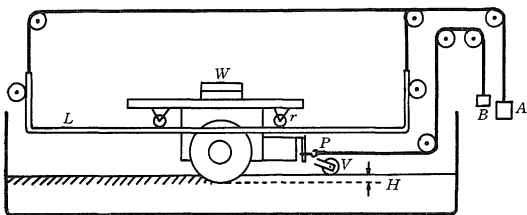
模型トラクタ重量は4.2kgでこのうち供試タイヤは直径100mm、幅36mm、玩具用空気タイヤで、踏面には幅2mm、5本の単純直線形パターンがある。駆動部は電圧12V、回転数60r.p.m.の自動車用ワイパーモーターを使用し4段減速して無負荷時で走行速度52mm/secとした。

この実験装置の最大の特長は、トラクタ車輪への荷重が静止時においても駆動時においても一定の積載荷重になることである。すなわち第2図の模式図に示されるようにトラクタは走行レールL上を拘束(前後のみ自由)されて走行し、トラクタ重量と走行レールの重量を右側の吊された重量Aでバランスをとっているので、トラクタ上に追加する積載荷重Wがそのまま車輪荷重となる。またけん引荷重Pは右側の吊された重量Bで調節される。さらに、けん引力などの原因でweight transferが生じてその変化はローラーrによって車輪荷重に還元されるので、車輪荷重には変化がなく、つねにトラクタ上の積載荷重がそのまま車輪荷重となるようになっている。

沈下量の測定は土壌仕上げ基準面の平鉄上に速度計測輪Vを走行させ、トラクタ車輪の沈下による基準面との差Hを速度計測輪取付部の回転型可変抵抗器によって電圧変化させオシロに記録させた。

第1表 土壌水分(含水比)の測定範囲

No.	干拓土壌 (シルト質粘土)	ロ ム	砂
①	9.1	16.3	0.3
②	27.4	25.0	4.0
③	36.1	32.5	9.0~11.5
④	46.0	38.9	10.5~22.1
⑤	59.2	45.3	28.5~33.3
⑥	64.8	49.2	
⑦	69.5	55.8	
⑧	78.6	61.3	
⑨	86.8		
⑩	92.3		
⑪	102.0		



第2図 実験装置模式図

また、別に土壌硬度を表示するために模型モーターで駆動して一定速度で貫入できる土壌硬度計(先端のコーンは底面積2.0cm<sup>2</sup>、先端角30°)を作成し、貫入抵抗を歪ゲージを介して深さごとの貫入抵抗を記録させた。貫入速度は12.5mm/secである。

### III 実験結果および考察

室内実験で使用した土壌は、中海干拓地(島田地区)より採土後、根くず、藁くずなどを除去し乾燥し固結したのを粉碎したもので、土壌水分の少ないときでは粉末状態に近い。

そこでトラクタの走行に関する基本的な沈下状況はあくするために、トラクタがテストコースをけん引負荷なしで自走する際の沈下と車輪荷重との関係を調査した。その結果、土壌水分が少ないときは直線の変化の傾向を示すが、土壌水分が多くなると沈下量を軸対称とする放物線の変化となった。この結果からさらに無負荷走行沈下に対する車輪荷重のみによる沈下の割合を見ると、土壌水分が極度に少ないときは土の粘着性なく走行しない。したがってすべり率100%時と同じ結果になる。土壌水分がやや多くなったときには、土の粘着性が増し沈下と車輪荷重との関係は直線の傾向を持った。またさらに、土壌水分が多くなってゆくと沈下量を軸対称とする放物線の変化となり車輪荷重が多くなると急に沈下が進むことになる。

ここでトラクタが車輪荷重のみで沈下する量を重量沈下、車輪の走行によって沈下する量を全沈下、全沈下と重量沈下の差を車輪のすべりによって沈下する量すなわちすべり沈下として、走行可能時において車輪荷重に対する走行速度比および全沈下中の重量沈下の割合をみると、車輪のすべりの割合に比較して重量沈下の減少割合が少なかった。このことから車輪がすべりを生じても走行状態を保持しているときは、すべりの増加に比較してすべり沈下が少ないといえる。この問題に関しては次報で詳細に実験をし検討する考えであるが、このことから、車輪の沈下は重量沈下とすべり沈下とから決定付けられると見ても大きな誤りはないであろう。したがって、ここではその性格を基本的に見いだすために、単なる重量沈下と車輪がすべり率100%になったときの沈下すなわち全沈下について検討した。

#### 1) 重量沈下と含水比

重量沈下の測定において比較的土壌水分の少ない場合の沈下量はある一定値に早く達し安定したが、過大土壌水分のときは荷重を積荷した初期において急に沈下が進み、徐々にゆるやかになった。車輪走行では長期静止状

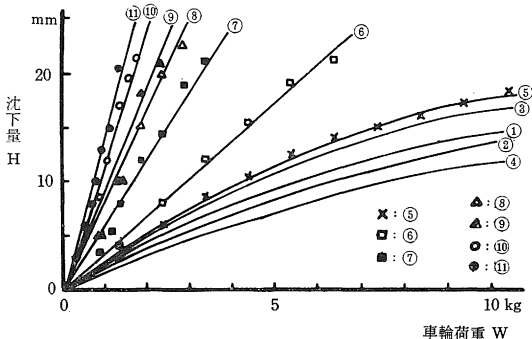
態はあまりないので、それでほぼ安定したとみられるときの値を測定値とした。

沈下量と車輪荷重の関係は第3図に示すように土壌水分の少ないときは放物線で、また土壌水分の多いときは直線で示された。すなわち土壌水分の少ないときは車輪荷重が大きくなると密度による影響が現われ放物線になると考えられるが、土壌水分が多くなると土壌は圧縮性から流動性へと性質が変化し支持力が低下していくため、比較的直線に近い状態になると考えられる。これを車輪荷重5kgまでの範囲について以上の傾向をすべて直線とみなし、直線の勾配で表わすと第4図のようになり土壌水分の少ないときはこの変化はあまりないが、含水比が55から急に大きくなっていく。これは土壌水分が少ないときは土壌密度によって支持力が得られるから、水分によっての変化はあまりないのに対し、土壌水分が多くなるにつれて、シルト、粘土等を含む土壌は保水力が

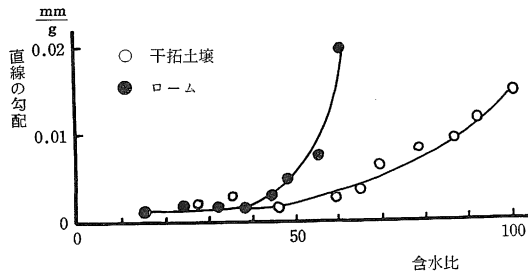
大きいため、含水比が多くなって車輪が floating している状態に近くなるので、水分による変化が徐々に大きくなると考えられる。

ロームについて同様調査の結果は、車輪荷重と沈下は同じ傾向を持ち含水比45以上になるとその勾配は急になるが、さらに過多の水分になっても土壌の保水力が干拓土壌にくらべて小さいために水分が表面へ流出するようになってくるので、水分による変化が急になる。

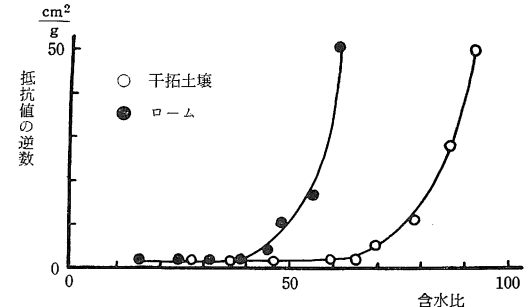
また、これらの値と比較するために土壌硬度計から得たコーン貫入抵抗値の深さ30mmまでの平均値の逆数と含水比の関係を第5図に示す。これと第4図とを比較するとその傾向は干拓土壌ではやや異なるがロームでは比較的等しい。すなわち同じコーンを用いて種類の異なる土について土の硬さで沈下の状態を表示することは困難のようである。このコーン指数については、土の種類によってコーン 断面積との関係を求めたもの<sup>(9)(1)</sup>、コーンの形状を変えたものとの相関関係を求めたものがあるが<sup>(2)</sup>、容易に判定することはむづかしい。したがって、重量沈下は単なる土壌の圧縮に近い状態であるため、貫入抵抗値と圧縮試験値との関連性を調査すべきであったと反省させられた。



第3図 含水比別の車輪荷重と重量沈下関係



第4図 重量沈下直線の勾配の変化



第5図 コーン抵抗値の逆数の変化

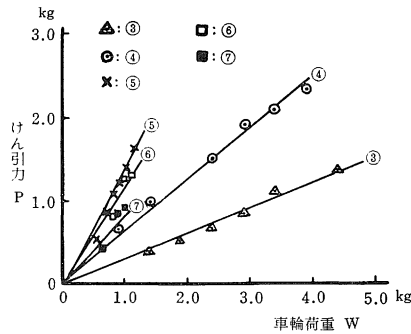
### 2) 全沈下と含水比

上記の車輪を駆動させすべり率100%にしたときの車輪荷重とけん引力Pとの関係を第6図に示す。この場合のけん引力は供試空気タイヤには、けん引力を増すためのラグ状のものはないから土のせん断力は比較的働かないで、ほとんど土壌との摩擦のみによって生じた値であると考えられる。このときの変化は直線で示された。従来現物試験でよく見られていたように、車輪荷重を増加しても weight transfer のため動荷重の変動があり、比較が困難でやむなく静荷重で示していたが、ここではその変動量が還元される装置であるため、基本的な動摩擦係数として表示されている。しかしながら、含水比60~70ともなるとタイヤへの土の付着が多く実質車輪荷重が増し、とくに模型実験であるためその重量割合は大きくしたがって粘着係数が1以上となる結果になった。

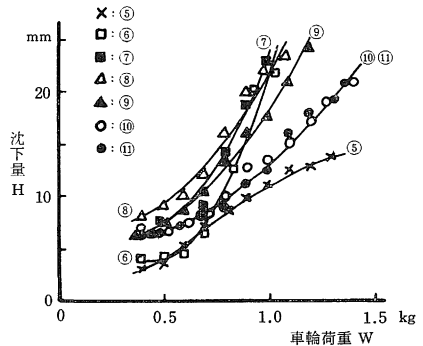
ローム、砂については、上記同様車輪荷重とけん引力の関係は直線的であった。また土の付着はほとんどないので粘着係数が1をこえることはなく、ここでの測定範囲では0.5以下であった。これらの結果からこの実験装置はその目的を果たしているといえるが、干拓土壌のような粘着性の大きい土では、模型トラクタであるため土粒子がタイヤに付着する影響が大きく現われる欠陥が生じた。

つぎに全沈下量すなわちすべり率100%時の沈下量と

車輪荷重の関係を第7図に示す。これは土壌水分の少ないときは車輪荷重が大きくなるにつれてS字型曲線として変化するが、土壌水分が多くなると沈下量を軸対称とする放物線となる傾向を示す。これは前者は



第6図 すべり率100%時の車輪荷重とけん引力



第7図 車輪荷重と全沈下

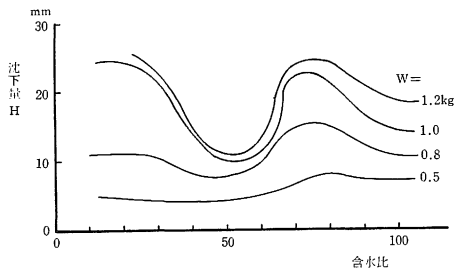
荷重が大きくなると土壌密度が高くなり、支持力を増すことによるためであると考えられ、後者は流動状態に近いので沈下の形態が前者と異なり重量沈下の項で述べたと同様の性格を現わすためと考えられる。ここで後者の場合、ある程度の含水比で沈下が多いのはさきに述べたタイヤへの土の付着によるものである。

またこれを車輪重量別に示したのが第8図で、車輪荷重が大きくなると土壌水分の増加に対する沈下量は急激に変化する。含水比50附近は支持力大きい、含水比65~80になるとタイヤへの土の付着と車輪荷重が多くなるため急に沈下量が多くなる。一般に車輪荷重が少ないときは含水比による沈下量の変化は比較的少なかった。

これらの傾向を他の土壌と比較してみると、全沈下量と車輪荷重との関係はロームでは含水比が大きいと整然とした放物線の変化となった。また砂は土壌水分の多少に関係なく一定でS字曲線の変化となった。これは土壌水分よりも密度による変化が大きいためであろう。

以上のことから干拓土壌は含水比60附近では砂に、それ以上の水分のときはロームに似た傾向を示すので、この附近の水分でタイヤへの土の付着が多くなるとともに性格が急変するといえる。

ここでさらに全沈下に対する重量沈下の割合を検討すると、一般的に土壌水分が多くなるにしたがいすべり沈下よりも重量沈下が大きくなった。この傾向は小中らのラゲつきプレートの沈下の基礎実験にもみられ<sup>(4)</sup>、これ



第8図 車輪荷重別の全沈下

は土の内部摩擦角が小さくなり、土が流動しやすくなるためですべりによる沈下はあまり進まない。土壌水分が少ないとき  $W=0.70\sim 0.80\text{kg}$  附近で重量沈下の割合が減少した。そして車輪荷重による重量沈下割合はS字型曲線を描いた。これはこの附近の車輪荷重のとき車輪のすべりによって土の移動が多く行なわれるためと想定される。同様の傾向は砂においても見られた。すなわち車輪の大きさから重量沈下と比較してすべり沈下を起しやすいう車輪荷重があるのではないだろうか。

今回の実験では、車輪の沈下の傾向を概念的に検討してみたのであるが、結果的には土壌水分による沈下の影響は液性限界附近で性格を異にし、それ以上の含水比においては水分の影響が大きく現われた。それより土壌水分の少ない場合においては密度の変化とを併せて車輪の走行性を検討しなければならないようである。

#### IV 摘 要

干拓ほ場においてトラクタの作業効率を決定付けるものはトラクタの走行性である。とくに軟弱地盤では車輪の沈下によってそれは左右される。ここではこの車輪の沈下を模型実験によって土壌水分の変化に対して基本的傾向の検討を試みた。

実験は中海干拓土壌を選び、他に比較のためにローム、砂をそれぞれ土壌槽に入れてその上を模型トラクタを走行させ土壌水分の変化に対する車輪の沈下量を測定した。土壌は転圧しないで膨軟土壌状態とした。

また、この実験装置はけん引力等によって weight transfer が生じて車輪荷重の変化がなく、トラクタ上の積載荷重がそのまま車輪荷重となるようにした。

実験結果から土壌水分による影響については次のような傾向を持つと考えられる。

1. 重量沈下は車輪荷重が大きくなるにつれて土壌水分の少ないときは密度による影響のため放物線的に、ま

た土壌水分が多くなるときは直線的に増加する傾向であった。この原因は水分に対する土壌の性質の変化のためである。また車輪荷重5 kgまでの範囲(土壌水分の多いときはほとんどこの範囲内の沈下である)についてこの傾向を直線とみなすと、その勾配の変化は含水比55以上で急激に増加する。これを貫入抵抗値の逆数と傾向を比較すると若干異なり貫入抵抗値の増加割合が大きかった。しかしロームでは両者ほぼ同じ傾向を示すことができた。

2. 車輪のすべり率100%時の全沈下(重量沈下とすべり沈下の合計)は車輪荷重が大きくなるにつれて、土壌水分の少ないときはS字型曲線で、土壌水分が多くなると放物線となって急に増大した。これは前者の場合、含水比60位まで砂と、また後者の場合ロームとよく似た傾向を示した。

3. 含水比50附近では土の支持力が大きく、沈下は比

較的少なかったが、含水比60~80では土の付着およびそれによる土の移動が生じ、すべり沈下の割合が増加した。

### 引用文献

1. 藤川武信・加来研・吉田勲・甲本達也・高村純夫：第32回農業土木学会九州支部講演集：31-34, 1968
2. 藤川武信・加来研・藤本昌宣・吉田勲：土質理工学研究報告 12：1-72, 1968
3. 金須正幸・国府田住弘・八木茂・瀬山健次：農業機械化研究所, 1966
4. 小中俊雄・Wesley-F. Buchele：農業機械学会誌 30：5-12, 1968
5. 田中孝：農業機械学会誌 20：104-108, 1958
6. 田中孝：農業機械学会誌 19：133-137, 1957

### Summary

For the improvement of working efficiency by the tractor, trafficability, especially in Japan, the sinkage of tractor on the wet field is a important problem.

Therefore, we investigated the relation between the sinkage of wheel and soil moisture on the soft reclaimed soil using by model tractor, indoors.

The device of the model tractor used in this test was enable to keep always constant weight on the tractor wheel by the special mechanism, although a tractor usually arise weight transfer on its wheel from running or pulling some loads.

Main test results are as follows ;

1) The sinkage of wheel has a linear relation to weight on the tractor wheel in high soil moisture, while parabolic increase in low soil moisture. It is due to an alteration of soil character caused by the change of soil moisture.

The sinkage makes a rapid increase when the dry basis soil moisture content becomes 55 and over.

2) The sinkage of wheel at the maximum slippage increases as S type curve with weight on the tractor wheel in the condition of low soil moisture, while as parabolic curve in high soil moisture.

3) The bearing capacity of soil is comparably large at the dry basis soil moisture content of almost 50. The slippage caused by wheel slip and soil adhesion to the test wheel increases rapidly at the dry bases soil moisture content of 60-80.